

DERWENT-ACC-NO: 1975-14668W

DERWENT-WEEK: 197509

COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Aluminium-iron-silicon alloys for electrical conductors
- with optimum combination of strength, ductility and
conductivity

PATENT-ASSIGNEE: SOUTHWIRE CO[SOUH]

PRIORITY-DATA: 1973US-0381656 (July 23, 1973)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
DE 2435456 A	February 20, 1975	N/A	000	N/A
CA 1037742 A	September 5, 1978	N/A	000	N/A
DE 2435456 B	February 23, 1978	N/A	000	N/A
FR 2238998 A	March 28, 1975	N/A	000	N/A
GB 1475587 A	June 1, 1977	N/A	000	N/A
JP 50070895 A	June 12, 1975	N/A	000	N/A

INT-CL (IPC): C22C021/00, C22F001/04, H01B001/02, H01B005/00

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 2435456A

BASIC-ABSTRACT:

The alloy has an electrical conductivity (EC) of min. 57% IACS and compsn. (all wt. %): 96.20-98.83 Al, 0.99-2.50 Fe, 0.18-0.40 Si, and 0.005-0.40 of ≥ 1 of the trace elements V, Cu, Mn, Mg, Zn, B, Ga, Ni, Zr, Cr, Be and Ti. The pref. compsn. is 97.2-98.7 Al, 1.1-2.0 Fe, 0.2-0.3 Si, 0.005-0.40, esp. 0.20 max. trace elements. The alloy has improved tensile-bending- and fatigue-strength with improved ductility. These alloys are suitable for conductors or connectors in the form of a bar, wire, sheet, foil and tube; the matl. is made by continuous casting followed by hot-rolling and cold-drawing.

TITLE-TERMS: ALUMINIUM IRON SILICON ALLOY ELECTRIC CONDUCTOR OPTIMUM
COMBINATION STRENGTH DUCTILE CONDUCTING

DERWENT-CLASS: L03 M27 X12

CPI-CODES: L03-A01A; M26-B09J;

51

Int. Cl. 2:

H 01 B

19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENTAMT



DT 24 35 456 A1

11

Offenlegungsschrift 24 35 456

21

Aktenzeichen: P 24 35 456.1

22

Anmeldetag: 23. 7. 74

23

Offenlegungstag: 20. 2. 75

30

Unionspriorität:

32 33 31

23. 7. 73 USA 381656

54

Bezeichnung: Leiter aus einer Aluminiumlegierung

71

Anmelder: Southwire Co., Carrol, Dipl.-Chem. Dr.; Held, M., Dr.-Ing.;
Wolff, M., Dipl.-Phys.; Pat.-Anwälte, 7000 Stuttgart u. 8000 München

72

Erfinder: Schoerner, Roger John; Chia, Enrique Calixto; Carrollton, Ga. (V.St.A.)

DT 24 35 456 A1

- 1 -

Leiter aus einer Aluminiumlegierung

Die Erfindung betrifft einen Leiter aus einer Aluminiumlegierung mit einer elektrischen Leitfähigkeit von mindestens 57%, bestimmt nach dem "International Annealed Copper Standard", im folgenden kurz als IACS-Standard bezeichnet, mit gegenüber bekannten Leitern aus Aluminiumlegierungen verbesserten Eigenschaften, insbesondere verbesserter Dehnung, verbesserter Biegefestigkeit und verbesserter Zugfestigkeit.

Es ist bekannt, die verschiedensten Aluminiumlegierungen in Form von Stäben, Drähten, Blättern, Folien, Platten, Röhren und anderen Formelementen als elektrische Leiter zu verwenden. Derartige Legierungen haben in charakteristischer Weise Leitfähigkeiten von mindestens 57%, bestimmt nach dem IACS-Standard. Sie bestehen zu einem wesentlichen Teil aus reinem Aluminium und vergleichsweise kleinen Mengen üblicher Verunreinigungen, z.B. Vanadium, Kupfer, Mangan, Magnesium, Zink, Bor, Gallium, Nickel, Zirkonium, Chrom, Beryllium und Titan.

Es hat sich gezeigt, daß die physikalischen Eigenschaften der bekannten Leiter aus Aluminiumlegierungen in vieler Hinsicht noch zu wünschen übrig lassen. So hat sich gezeigt, daß bei den bekannten Legierungen eine wünschenswerte Dehnung nur unter Verminderung der Zugfestigkeit erreicht werden kann und daß andererseits wünschenswerte Zugfestigkeiten nur auf Kosten einer verminderten prozentualen Dehnung erreichbar sind. Im übrigen sind die Biegefestigkeit und der Ermüdungswiderstand von bekannten Leitern aus Aluminiumlegierungen so gering, daß derartige Leiter für die verschiedensten Anwendungsgebiete nicht geeignet sind.

Es besteht somit ein Bedürfnis nach einem elektrischen Leiter aus einer Aluminiumlegierung mit verbesserten physikalischen Eigenschaften mit einer verbesserten prozentualen Dehnung und

509808/0755

ORIGINAL INSPECTED

einer verbessert n Zugfestigkeit sowie ferner ein verbessertes Widerstandsfähigkeit gegenüber Biegebeanspruchung und in r verbessert n Widerstandsfähigkeit gegenüber Ermüdungserscheinung während der Verwendung des Leiters.

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Leiter aus einer Aluminiumlegierung anzugeben, der gekennzeichnet ist durch eine verbesserte Dehnung, eine verbesserte Zugfestigkeit, eine verbesserte Biegefestigkeit, eine verbesserte Dauerfestigkeit, eine hohe thermische Stabilität, eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber Ermüdungserscheinungen und durch eine zufriedenstellende elektrische Leitfähigkeit.

Der Erfindung lag die Erkenntnis zugrunde, daß man zu Leitern der aufgeführten Eigenschaften dann gelangt, wenn sie aus einer Aluminiumlegierung bestehen, die durch einen Gehalt von weniger als etwa 98,83 Gew.-% Aluminium, einen Gehalt von mehr als etwa 0,99 Gew.-% Eisen und einen Gehalt von mehr als etwa 0,18 Gew.-% Silicium gekennzeichnet ist.

Gegenstand der Erfindung ist somit ein Leiter aus einer Aluminiumlegierung mit einer elektrischen Leitfähigkeit von mindestens 57%, bestimmt nach dem IACS-Standard, der dadurch gekennzeichnet ist, daß die Legierung besteht zu

etwa 96,20 bis 98,83 Gew.-% Aluminium,
etwa 0,99 bis etwa 2,50 Gew.-% Eisen,
etwa 0,18 bis etwa 0,40 Gew.-% Silicium und
zu 0,005 bis etwa 0,40 Gew.-% aus einem oder mehreren der Spurenelemente Vanadium, Kupfer, Mangan, Magnesium, Zink, Bor, Gallium, Nickel, Zirkonium, Chrom, Beryllium und Titan.

Der Aluminiumgehalt der erfindungsgemäßen Legierung liegt somit bei etwa 96,20 bis etwa 98,83 Gew.-%. Besonders vor-

teilhafte Ergebnisse werden dann erhalten, wenn der Aluminiumgehalt bei etwa 97,20 bis etwa 98,70 Gew.-%, insbesondere bei etwa 97,80 bis etwa 98,70 Gew.-% liegt.

Der Eisengehalt der Legierung liegt in vorteilhafter Weise bei etwa 2,50 Gew.-% bis ~~mindestens~~ etwa 0,99 Gew.-%, wobei besonders vorteilhafte Ergebnisse dann erhalten werden, wenn der Eisengehalt bei etwa 1,10 bis etwa 2,00 Gew.-% liegt.

Als besonders vorteilhaft hat es sich des weiteren erwiesen, wenn der Siliciumgehalt der Legierung bei etwa 0,20 bis etwa 0,30 Gew.-% liegt.

Das Verhältnis von Gew.-% Eisen zu Gew.-% Silicium soll bei 2:1 oder darüber liegen. In besonders vorteilhafter Weise liegt das Gewichtsverhältnis von Eisen zu Silicium bei 8:1 oder darüber.

Wenn somit die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung einen Eisengehalt im unteren Bereich des angegebenen Gewichtsbereiches aufweist, so ist eher die Gewichtsmenge an Aluminium zu erhöhen als die Gewichtsmenge an Silicium.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß ein in geeigneter Weise hergestellter oder bearbeiteter Leiter aus einer Aluminiumlegierung der angegebenen Zusammensetzung durch eine annehmbare elektrische Leitfähigkeit gekennzeichnet ist und durch eine verbesserte Zugfestigkeit, eine verbesserte Dehnung und daß ein solcher Leiter des weiteren neue unerwartete Eigenschaften zeigt, und zwar eine in überraschender Weise erhöhte Biegefestigkeit, eine weit verbesserte Ermüdungswiderstandsfähigkeit, eine hohe Dauerfestigkeit und eine ausgezeichnete thermische Stabilität.

Die erfindungsgemäße Aluminiumlegierung läßt sich herstellen durch Aufschmelzen und Legieren von Aluminium mit den notwendigen Mengen an Eisen und anderen Bestandteilen unter Erzeugung

der Legierung für die Weiterverarbeitung. Der Gehalt an typischen Verunreinigungen der Spurenelementen der Schmelze liegt dabei bei insgesamt 0,005 bis etwa 0,40 Gew.-%. In besonders vorteilhafter Weise liegen die Spurenelemente in einer Gesamtmenge von weniger als 0,20 Gew.-% vor. Als ganz besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn die einzelnen Verunreinigungen oder Spurenelemente in Mengen von etwa 0,10 Gew.-% oder darunter vorliegen. Bei der Berechnung der Mengen an Spurenelementen muß die Leitfähigkeit der herzustellenden Legierung beachtet werden, da einige Spurenelemente die Leitfähigkeit der Legierung mehr als andere Spurenelemente zu beeinflussen vermögen. Die typischen Spurenelemente bestehen beispielsweise aus Vanadium, Kupfer, Mangan, Magnesium, Zink, Bor, Gallium, Nickel, Zirkonium, Chrom, Beryllium und Titan.

Ist der Gehalt an Titan relativ hoch (jedoch im Vergleich zum Aluminium, Eisen und Silicium sehr niedrig) so können vergleichsweise kleine Mengen an Bor zugesetzt werden, um überschüssiges Titan zu binden und um zu vermeiden, daß es die Leitfähigkeit des Leiters vermindert.

Nach Herstellung der Schmelze wird die Aluminiumlegierung vergossen, vorzugsweise kontinuierlich, und zwar zu endlosen Stangen oder Stäben. Diese gegossenen Stangen oder Stäbe können dann heiß bearbeitet werden, in praktisch dem Zustand, in dem sie in der Gießmaschine oder Gießverrichtung anfallen. Eine typische Heißbearbeitung besteht darin, die Stäbe oder Stangen unmittelbar nach ihrer Herstellung in einem Walzwerk zu walzen.

Selbstverständlich können auch andere Herstellungsmethoden angewandt werden, doch werden besonders vorteilhafte Ergebnisse bei einem kontinuierlichen Verarbeitungsprozeß erzielt. Andere Herstellungsmethoden bestehen beispielsweise aus üblichen Extrusions- und Hydrostatischen Extrusionsverfahren unter direkter Erzeugung von Stäben oder Drähten, in Sinterverfahren, bei denen Aluminium-

500008/0755

gi rungspulver unter Herstellung von Stäben, Barr n, Taf ln, Stangen oder Drähten direkt gesintert werden oder in Verfahren, bei denen direkt aus der aufgeschmolzenen Aluminiumlegierung Stangen, Barren, Tafeln, Stäbe oder Drähte direkt gegossen werden und ferner üblichen Gießverfahren, bei denen aus der Schmelze Barren, Tafeln, Stäbe und dergl. gegossen werden, welche anschließend heiß bearbeitet werden können unter Herstellung von Stäben und zu Drähten verzogen werden können.

Ein Beispiel eines kontinuierlichen Gieß- und Walzverfahrens, nach dem endlose Stäbe hergestellt werden können, arbeitet wie folgt:

Eine kontinuierliche arbeitende Gießvorrichtung dient zur Verfestigung des aufgeschmolzenen Aluminiumlegierungsmetall unter Erzeugung eines Stabes, der in praktisch dem Zustand, in dem er in der kontinuierlich arbeitenden Gießvorrichtung zum Erstarren gebracht wurde, einem Walzwerk zugeführt wird, in welchem die Heißbearbeitung der gegossenen Stangen in einen Stab oder in ein anderes heißgeformtes Element oder Erzeugnis erfolgt, und zwar in einer Art und Weise, bei welcher eine Bewegung der gegossenen Stangen längs einer Vielzahl von winkelförmig angeordneten Achsen erfolgt.

Die kontinuierlich arbeitende Gießvorrichtung kann dabei vom Typ der üblichen Gießradvorrichtungen sein, mit einem Gießrad mit einer Gießrinne oder Gießnut, die teilweise eingeschlossen wird durch ein endloses Förderband, das gelagert ist auf dem Gießrad und einer Spannwalze. Das Gießrad und das endlose Förderband stehen dabei miteinander im Eingriff unter Erzeugung einer Form, in dessen eines Ende die gegossene Stange ausgestoßen wird, in praktisch dem Zustand, in dem sie verfestigt wurde.

Das Walzwerk kann aus einem der üblichen Walzwerke bestehen mit einer Vielzahl von Walzen zum Heißverformen der gegossenen Stangen

durch eine Reihe von Verformungen. Die kontinuierlich arbeitende Gießvorrichtung und das Walzwerk sind dabei zueinander derart angeordnet, daß die gegossene Stange in das Walzwerk praktisch unmittelbar nach der Verfestigung der Stange eintritt und in praktisch dem Zustand, in dem die Verfestigung oder Erstarrung erfolgte. In diesem Zustand befindet sich die gegossene Stange auf einer Heißbearbeitungstemperatur innerhalb des Temperaturbereiches für eine Heißverformung der gegossenen Stange zu Beginn der Heißverformung ohne Erhitzen zwischen der Gießvorrichtung und dem Walzwerk. In dem Falle, in dem es erwünscht ist, die Heißverformungstemperatur der gegossenen Stange innerhalb der üblichen Heißverformungstemperaturen zu überwachen, können Vorrichtungen zum Einstellen oder Anpassen der Temperatur der gegossenen Stange zwischen der kontinuierlich arbeitenden Gießvorrichtung und dem Walzwerk angeordnet werden.

Mit einer Vorrichtung des beschriebenen Typs können aus der Schmelze Stangen der verschiedensten Längen durch Vergießen der geschmolzenen Aluminiumlegierung und durch Heißverformen oder Walzen der gegossenen Aluminiumstangen hergestellt werden.

Die Stäbe, die nach dem Vergießen und Verwalzen anfallen, können dann in üblicher bekannter Weise weiter verarbeitet werden unter Verminderung der Dicke zu Drähten verschiedener Dicken. In vorteilhafter Weise können die Stäbe um etwa 40 bis etwa 97% ihres Durchmessers vor der Dickenverminderung vermindert werden. Die nicht getemperten oder nicht angelassenen Stäbe werden kalt verzogen, und zwar durch eine Reihe von sich fortschreitend verengenden ~~zugenden~~ Formen ohne zwischengeschaltete Temperstufen unter Erzeugung eines endlosen Drahtes eines gewünschten Durchmessers. Am Ende des Ziehens oder Verstreckens weist die Legierung eine hohe Zugfestigkeit und eine vergleichsweise geringe Endlehnung auf sowie eine Leitfähigkeit, die unter 55% gemäß IACS liegen kann. Die hergestellten Drähte können dann getempert oder angelassen oder teilweise getempert und teilweise angelassen werden, um die erwünschten Eigenschaften zu erreichen und abgekühlt wer-

den. Nach dem Tempern der Algorithmen zeigen die getemperten der angelassenen Legierungsdrähte eine unverändert verbesserte prozentuale Enddehnung, eine verbesserte Endfestigkeit und eine hohe Dauerfestigkeit, eine hohe Leitfähigkeit, eine hohe thermische Stabilität, eine ausgezeichnete Biegefestigkeit und eine ausgezeichnete Ermüdungsfestigkeit. Das Tempern oder Anlassen kann dabei in üblicher bekannter Weise kontinuierlich durchgeführt werden, wie beispielsweise beim Widerstandstempern, beim Induktionstempern, beim Konvektionstempern mittels Kanälöfen oder durch Strahlungstempern mittels Kanälöfen oder vorzugsweise kann das Tempern auch in der Masse in einem Partienofen erfolgen.

Beim kontinuierlichen Tempern können in vorteilhafter Weise Temperaturen von etwa 232 bis 650°C angewandt werden, bei Temperzeiten von etwa 5 Minuten bis zu etwa einer 1/10 000 Minute. Ganz allgemein jedoch werden beim kontinuierlichen Tempern die Temperaturen und Temperzeiten so eingestellt, daß sie den Erfordernissen des speziellen Gesamtverfahrens genügen, so daß die gewünschten physikalischen und elektrischen Eigenschaften erreicht werden. Im Falle einer Massentemperung oder einer chargenweisen Temperung können in vorteilhafter Weise Temperaturen von etwa 154 bis etwa 427°C angewandt werden, bei Verweilzeiten von etwa 30 Minuten bis etwa 24 Stunden. Wie im Falle des kontinuierlichen Temperprozesses können auch beim Massentempern oder chargenweisen Tempern die Tempertemperaturen und Tempertdauer im Einzelfalle sehr verschieden sein, solange nur die gewünschten Eigenschaften erreicht werden.

Beispielsweise hat sich gezeigt, daß die in der folgenden Tabelle I angegebenen End-Zugfestigkeiten bei einem erfindungsgemäßen Aluminiumlegierungsdraht bei den im folgenden angegebenen Massen-Tempertemperaturen und Zeitspannen erreicht werden können:

509808/0755

Tabelle I

Zugfestigkeit kg/cm ²	Temper-Tempera- tur °C	Zeit in Stunden
1055 - 1265	343	3
1265 - 1476	288	3
1476 - 1687	271	3
1687 - 1968	249	3

Beim Vergießen der Legierung fällt ein wesentlicher Anteil des in der Legierung vorhandenen Eisens aus der Lösung aus und zwar in Form von Eisen- und Aluminium- und gegebenenfalls Siliciumverbindungen, beispielsweise in Form von FeAl_3 , FeAl_6 , $\alpha\text{-Al-Fe-Si}$ und $\beta\text{-Al-Fe-Si}$. Ein großer Teil oder der Hauptteil der Partikel weist dabei eine durchschnittliche Länge von etwa 0,30 Mikron bis etwa 1,70 Mikron und einen durchschnittlichen Durchmesser von etwa 0,05 Mikron bis etwa 0,40 Mikron auf. Infolgedessen ~~anhand~~ der durch Gießen erzeugte Stab eine Dispersion von Partikeln in einer übersättigten aus einer festen Lösung bestehenden Matrix. Wird nun der Stab im Rahmen eines Heißbearbeitungsverfahrens gewalzt, so werden die Partikel aufgebrochen und innerhalb der Matrix dispergiert unter Hemmung der Bildung großer Zellen. Wird der erhaltene Stab nun durch Ziehen in seine Endform gebracht, ohne daß zwischendurch ein Tempern erfolgt, so werden die Bestandteile weiter dispergiert und in ihrer Größe vermindert. Nach dem Altern in einer abschließenden Temperoperation werden die Zugfestigkeit, die Dehnung, die Dauerfestigkeit, die thermische Stabilität, die Ermüdungswiderstandsfähigkeit, die Leitfähigkeit und Bruchfestigkeit erhöht und zwar aufgrund der geringen Zellengröße und durch ein zusätzliches Verstärken von Verwerfungen durch eine bevorzugte Ausfüllung der Partikel in diesen Stellen. Infolgedessen müssen neue Verschiebungsursachen oder Verschiebungsquellen (dislocation-sources) unter der angewandten Spannung des Ziehprozesses aktiviert werden und dieses führt zu einer weiteren Verbesserung von sowohl der Festigkeit als auch der Dehnung.

609808/0755

Die Eigenschaften der erfindungsgemäßen Aluminiumlegierungsleiter werden wesentlich beeinflusst von der Größe der teilchenförmigen Verbindungen in der Matrix. Grobe Niederschläge oder Ausfällungen vermindern die prozentuale Dehnung und die Biegefestigkeit der Leiter durch Erhöhung der Bildung von Kristallisationskernen und infolgedessen der Bildung von großen Zellen, welche wiederum die Rekristallisationstemperatur des Leiters vermindern. Feine Ausfällungen oder Niederschläge verbessern die prozentuale Dehnung und Biegefestigkeit durch Verminderung der Bildung von Kristallisationskernen und Erhöhung der Rekristallisationstemperatur. Grobe oder grobkörnige Niederschläge oder Ausfällungen führen im allgemeinen dazu, daß der Leiter brüchig wird. Grobe Niederschläge oder Ausfällungen sind unter einem optischen Mikroskop klar sichtbar, d.h. oberhalb von etwa 5000 Å. α - und β -FeAlSi bilden grobe Niederschläge und FeAl₃ und FeAl₆ weisen Partikelgrößen von etwa 25 Å bis etwa 5000 Å auf.

Eine typische erfindungsgemäße Legierung (Legierung Nr. 12 AWG) weist beispielsweise die folgenden physikalischen Eigenschaften auf:

Eine Zugfestigkeit von mindestens 1125 kg/cm²,
eine Enddehnung von 20%,
eine Leitfähigkeit von mindestens 58% nach IACS und
eine Biegefestigkeit von etwa 15 Biegungen bis zum Bruch.

Ganz allgemein weisen Drähte vom Typ 12 AWG aus einer erfindungsgemäßen Legierung Zugfestigkeiten von etwa 984 bis 2320 kg/cm², Enddehnungen von etwa 40 bis etwa 8%, Leitfähigkeiten von etwa 58% bis etwa 62% und Biegezahlen bis zum Bruch von etwa 38 bis 2 auf.

Die erfindungsgemäßen, aus Aluminium-legierungen bestehenden Leiter der Erfindung, können, wie bereits dargestellt in Form von Stäben, Drähten, Blättern, Folien, Röhren und dergl. vorliegen. Sie können als Bin-

delemente oder Verbindungsteile in elektrischen Vorrichtungen verwendet werden. Sie können nach üblichen bekannten Meth den miteinander verbunden oder verknüpft werden, beispielsweise durch Umbiegen oder Krimpfen, durch Druckverbindung, durch Verlöten (mit oder ohne Zufuhr von Wärme und Flußmittel), durch Verschweißen (mit oder ohne Flußmittel), durch Ultraschallverschweißen, durch Ultraschallverlöten, durch Plasmaerhitzen und andere übliche Methoden der Verbindung von elektrischen Leitern.

Der hier gebrauchte Ausdruck "Stab" oder "Stange" bezeichnet feste Produkte, die in Bezug auf ihren Querschnitt lang sind. In typischer Weise können die Stäbe und Stangen beispielsweise einen Querschnitt von etwa 7,6 cm bis 9,525 mm aufweisen.

Unter "Drähten" sind hier feste Produkte zu verstehen, die lang bezüglich ihres Querschnittes sind, wobei der Querschnitt quadratisch oder rechteckig sein kann mit scharfen oder runden Kanten oder wobei der Querschnitt rund sein kann oder aus einem regulären Hexagon oder einem regulären Oktagon bestehen kann und wobei der Durchmesser oder die größte senkrechte Entfernung zwischen parallelen Flächen beispielsweise zwischen 0,078 und 9,52 mm liegen kann.

Unter "Folien" werden metallische Folien einer Schichtstärke von vorzugsweise weniger als 0,015 cm bezeichnet.

Der Ausdruck "Blätter" kennzeichnet flach ausgewalzte Metallprodukte mit einer maximalen Dicke und Mindestbreite je nach dem Typ der Legierung, wobei die Blätter dünner als Platten und dicker als Folien sind.

Unter "Platten" werden flach ausgewalzte Metallprodukte einer Minstdicke und einer Mindestbreite je nach dem Typ der verwendeten Legierung und/oder ihres Verwendungsgebietes verstanden.

Die folgenden Beispiele sollen die Erfindung näher veranschaulichen.

Beispiel 1

Dies Beispiel vergleicht die Eigenschaften eines Drahtes aus einer bekannten Aluminiumlegierung (EC aluminum alloy) mit einem Draht aus einer erfindungsgemäßen Legierung.

Zunächst wurde eine Aluminiumlegierung bekannter Zusammensetzung hergestellt, und zwar mit einem Aluminiumgehalt von 99,73 Gew.-%, einem Eisengehalt von 0,18 Gew.-%, einem Siliciumgehalt von 0,059 Gew.-% und Spuren Mengen typischer Verunreinigungen.

Des weiteren wurde eine erfindungsgemäße Legierung mit einem Aluminiumgehalt von 98,28 Gew.-%, einem Eisengehalt von 1,40 Gew.-%, einem Siliciumgehalt von 0,25 Gew.-% und Spuren Mengen typischer Verunreinigungen hergestellt.

Beide Legierungen wurden kontinuierlich zu endlosen Stangen vergossen und zu endlosen Stäben heiß-verwalzt. Die Legierungsstäbe wurden dann kalt gezogen, und zwar durch sich successive ^{engende} ~~verengende~~ Formen. Hergestellt wurden endlose Drähte vom Typ Nr. 12 AWG.

Abschnitte der Drähte wurden dann auf verschiedenen Spulen aufgespult und in einem Massen- oder Chargenofen bei verschiedenen Temperaturen verschieden lange getempert, unter Erzeugung von Drahtabschnitten verschiedener Zugfestigkeiten.

Verschiedene Proben der Drähte wurden dann in einer Vorrichtung getestet, die bestimmt ist zum Messen der Anzahl von Biegungen, die erforderlich sind, um einen Prüfling an einer bestimmten Biegestelle zum Bruch zu bringen. Durch Anwendung einer gleichförmigen Kraft und Spannung ermüdet die Vorrichtung jeden Prüfling durch Biegen um etwa 135°C. Die Draht wurde dabei um ein

Paar von im Abstand zueinander angeordneten Dornen mit einem Durchmesser von dem der Drähte gebogen. Die Dorne befanden sich in einer Entfernung voneinander von etwa $1 \frac{1}{2}$ mal des Durchmessers des zu testenden Drahtes. Eine Biegung galt als erfolgt, nach dem der Draht abgebogen war aus einer vertikalen Lage zu einem Extrem des Bogens und zurückgekehrt war in seine ursprüngliche vertikale Stellung. Die Geschwindigkeit der Abbiegung, die Kraft und die Spannung waren im Falle aller Prüflinge gleich. Es wurden die in der folgenden Tabelle II zusammengestellten Daten erhalten.

Tabelle II

Legierung gemäß Stand der Technik		Legierung gemäß Erfindung	
Zugfestigkeit in kg/cm ²	Anzahl von Bie- gungen bis zum Bruch	Zugfestigkeit in kg/cm ²	Anzahl von Bie- gungen bis zum Bruch
709	43 $\frac{1}{2}$	1127	38
899	24	1300	30
948	21 $\frac{1}{2}$	1568	22
996	14	1765	19
1069	13 $\frac{3}{4}$	1947	17
1132	11	2116	12
1204	9 $\frac{3}{4}$	2334	9
1278	8 $\frac{3}{4}$	2461	3
1622	5 $\frac{1}{2}$		
2061	4		

Wie sich aus den in der Tabelle II zusammengestellten Daten ergibt, weist die erfindungsgemäße Legierung eine überraschend verbesserte Biegefestigkeit gegenüber der üblichen bekannten Legierung auf.

Mehrere Abschnitte der beiden Drähte wurden dann nach üblichen Testmethoden auf ihre Enddehnung untersucht. Vom Zeitpunkt des Bruches wurde die Längenzunahme der Drähte ermittelt. Die prozen-

609808/0755

tuale Enddehnung wurde dann rmittelt durch Divisi n d r Anfangslänge des Drahtprüflings durch die Längenzunahme des Drahtprüflings. Die Zugfestigkeiten der Drahtprüflinge wurde ermittelt als kg/cm^2 des Querschnittsdurchmessers, die erforderlich waren, um die Drähte während des Enddehnungstestes zu brechen. Die in Klammern gesetzten Werte der folgenden Tabellen beziehen sich auf pounds per square inch of cross-sectional diameter.

Tabelle II-A

Legierung gemäß Stand der Technik		Legierung gemäß Erfindung	
Zugfestigkeit in kg/cm^2 (PSI)	% Dehnung	Zugfestigkeit in kg/cm^2 (PSI)	% Dehnung
703 (10 000)	30,5	1090 (15 500)	14
893 (12 700)	21,	1136 (16 158)	16
949 (13 500)	14,	1163 (16 550)	15
998 (14 200)	11,5	1209 (17 200)	15
1055 (15000)	8	1284 (18 270)	14
1160 (16 500)	3,5	1336 (19 000)	12
1286 (18 300)	2,	1440 (21 480)	10
		1729 (24 600)	7
		1968 (28 000)	6
		2671 (38 000)	3

Wie sich aus Tabelle II-A ergibt, weist die erfindungsgemäße Legierung eine überraschend verbesserte Enddehnung im Vergleich zu der bekannten Legierung auf.

Beispiele 2 bis 7

Es wurden 6 Aluminiumlegierungen verschiedener Zusammensetzung hergestellt. Die Zusammensetzung dieser Legierungen ergibt sich aus der folgenden Tabelle III.

Tabelle III

Beispiel Nr.	% Al	% Fe	% Si
Vergleichs -	99,73	0,13	0,059
2	96,56	0,99	0,40
3	98,39	1,15	0,38
4	98,06	1,50	0,33
5	97,89	1,79	0,27
6	97,70	2,00	0,22
7	97,25	2,50	0,18

Die sechs Legierungen wurden zu sechs endlosen Stangen vergossen, welche zu sechs endlosen Stäben heiß-verwalzt wurden. Die Stäbe wurden dann kalt durch sich successive verengende Formen unter Erzeugung von Drähten vom Typ Nr. 12 gezogen (*12 gauge wire).

Die aus den Legierungen der Beispiele 2 bis 7 gezogenen Drähte wurden einer Widerstandstemperung unterworfen und hatten die Zugfestigkeiten, die in der folgenden Tabelle IV aufgeführt sind. Nach dem Tempern der Drähte wurden diese auf ihre prozentuale Leitfähigkeit, ihre Zugfestigkeit und ihre prozentuale Enddehnung nach üblichen Testmethoden untersucht, wobei zur Bestimmung der Anzahl von Biegungen bis zum Bruch die in Beispiel 1 angegebene Testmethode angewandt wurde. Die erhaltenen Daten sind in der folgenden Tabelle IV zusammengestellt.

Tabelle IV

Beispiel Nr.	Leitfähigkeit in % IACS	Zugfestigkeit in kg/cm ² (PSI)	% Enddehnung
Vergleichs-	62,80	844 (12,000)	20
2	60,08	1054 (15,000)	14
3	58,15	1040 (14,800)	13
4	58,20	1047 (14,900)	12

Forts tzung von Tabell IV

5	59,90	1115 (15,800)	11
6	60,15	1052 (16,400)	10
7	59,60	1266 (18,000)	10

Zu beachten ist dabei, daß Beispiel 2 infolge der Zusammensetzung der Legierung dieses Beispieles außerhalb des Erfindungsbereiches liegt.

Beispiel 8

Zunächst wurde eine Aluminiumlegierung mit einem Aluminiumgehalt von 97,70 Gew.-%, einem Eisengehalt von 2,00 Gew.-%, einem Sili- ciumgehalt von 0,27 Gew.-% und Spuren Mengen typischer Verunreinigungen hergestellt.

Die Legierung wurde dann zu einer endlosen Stange vergossen, welche zu einem endlosen Stab heiß-gewalzt wurde.

Der erhaltene Stab wurde dann kalt durch sich successive verengende Formen unter Erzeugung eines Drahtes vom Typ 12 AWG gezogen. Der Draht wurde auf einer Trommel eines Durchmessers von 76,20 cm auf- gespult, und zwar bis das Drahtgewicht bei etwa 103,5 kg lag. Die Trommel wurde dann in einen kalten Ofen (General Electric Bell Furnace) gebracht, worauf die Temperatur im Ofen auf 249°C erhöht wurde. Die Temperatur im Ofen wurde 3 Stunden lang bei 249°C belassen, worauf die Stromzufuhr unterbrochen und der Ofen auf 204°C abkühlen gelassen wurde. Daraufhin wurde der Ofen schnell abgekühlt, worauf die Trommel aus dem Ofen entnommen wurde.

Der Draht wurde nunmehr untersucht. Er wies eine Leitfähigkeit von 58,8% IACS, eine Zugfestigkeit von 1180 kg/cm², eine prozentuale Enddehnung von 11% und eine Anzahl von Biegungen bis zum Bruch von 18 auf.

Beispiel 9

Das in Beispiel 8 beschriebene Verfahren wurde wiederholt, mit der Ausnahme jedoch, daß die Ofentemperatur auf 260°C gebracht wurde und der Draht 3 Stunden lang bei dieser Temperatur belassen wurde, bevor abkühlen gelassen wurde.

Der getemperte Draht wies eine Leitfähigkeit von 58,8 IACS, eine Zugfestigkeit von 1124 kg/cm^2 , eine prozentuale Enddehnung von 12% und eine Anzahl Biegungen bis zum Bruch von 22 auf.

Beispiel 10

Das in Beispiel 8 beschriebene Verfahren wurde wiederholt, mit der Ausnahme jedoch, daß die Ofentemperatur auf 316°C erhöht wurde und daß der Draht 3 Stunden lang bei dieser Temperatur getempert wurde. Der getemperte Draht wies eine Leitfähigkeit von 59,2% IACS, eine Zugfestigkeit von 1131 kg/cm^2 und eine prozentuale Dehnung von 14% auf. Die Anzahl von Biegungen bis zum Bruch lag bei 26.

Beispiel 11

Das in Beispiel 8 beschriebene Verfahren wurde wiederholt, mit der Ausnahme jedoch, daß die Ofentemperatur auf 316°C erhöht wurde und der Draht $1 \frac{1}{2}$ Stunden lang bis zum Abkühlen auf diese Temperatur erhitzt wurde. Der getemperte Draht wies eine Leitfähigkeit von 59,25% IACS, eine Zugfestigkeit von 1187 kg/cm^2 und eine prozentuale Dehnung von 16% auf. Die Anzahl Biegungen bis zum Bruch lag bei 23.

Beispiel 12

Eine Legierung der in Beispiel 8 angegebenen Zusammensetzung wurde zu einer endlos n Stange vergossen, welche zu einem endlosen Temper-F-Stab in s Durchmesser von 9,52 cm h 18-v rwalzt

609808/0755

- 17 -

wurde. Der Stab wurde dann kalt durch sich successiv verengende Formen gezogen, und zwar unter Erzeugung eines Drahtes vom Typ Nr. 14 AWG (~~14~~ 14 AWG wire). Der Draht wurde dann auf einer Drahtziehmaschine weiter verstreckt, und zwar mittels einer Maschine vom Typ Synchro Model BG-16 mit einer Tempervorrichtung vom Typ Synchro Resistoneal continuous in line. Der Draht wurde zu einem Draht vom Typ Nr. 28 AWG bei einer Endgeschwindigkeit von ungefähr 1000 m pro Minute verstreckt, wobei die Tempervorrichtung bei 52 Volt mit einer Transformatoreinstellung Nr. 8 betrieben wurde.

Der getemperte Legierungsdraht ^{hatte} ~~wies~~ eine Leitfähigkeit von 58,91 IACS, eine Zugfestigkeit von 1152 kg/cm^2 und eine prozentuale Enddehnung von 18%. Da die Drahtdicke sehr gering war, war die Anzahl von Biegungen bis zum Bruch extrem groß.

Beispiel 13

Eine Legierung der in Beispiel 8 angegebenen Zusammensetzung wurde zu einer endlosen Stange vergossen, welche zu einem endlosen F-Temper-Stab eines Durchmessers von 9,525 cm heiß-verwalzt wurde. Der Stab wurde dann kalt gezogen, und zwar unter Verwendung einer Drahtziehmaschine vom Typ Synchro Style Nr. FX 13 mit einer kontinuierlichen Tempervorrichtung. Der Draht wurde zu einem Draht vom Typ Nr. 12 AWG bei einer Endgeschwindigkeit von 610 m pro Minute gezogen. Die Temper-Vorrichtungsspannung lag beim Vorerhitzer Nr. 1 bei 35 Volt, beim Vorerhitzer Nr. 2 bei 35 Volt und in der Tempervorrichtung bei 22 Volt. Die drei Transformatoreneinstellungen lagen bei Nr. 3.

Der getemperte Draht wies eine Leitfähigkeit von 59,01 IACS, eine Zugfestigkeit von 1180 kg/cm^2 und eine prozentuale Enddehnung von 17% auf.

- 4 -
- 92 -

P A T E N T A N S P R O C H E

1. Leiter aus einer Aluminiumlegierung mit einer elektrischen Leitfähigkeit von mindestens 57%, bestimmt nach dem IACS-Standard, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung besteht
- 22

etwa 96,20 bis 98,83 Gew.-% aus Aluminium,
etwa 0,99 bis etwa 2,50 Gew.-% aus Eisen,
etwa 0,18 bis etwa 0,40 Gew.-% aus Silicium und
zu 0,005 bis etwa 0,40 Gew.-% aus einem oder mehreren
der Spurenelemente Vanadium, Kupfer, Mangan, Magnesium, Zink,
B-or, Gallium, Nickel, Zirkonium, Chrom, Beryllium und Titan.

2. Leiter aus einer Aluminiumlegierung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß er besteht aus

zu etwa 97,20 bis 98,70 Gew.-% aus Aluminium,
zu etwa 1,10 bis etwa 2,00 Gew.-% aus Eisen,
zu etwa 0,20 bis etwa 0,30 Gew.-% aus Silicium und
zu etwa 0,005 bis etwa 0,40 Gew.-% aus Spurenelementen.

3. Leiter aus einer Aluminiumlegierung nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Gesamtgehalt an Spurenelementen weniger als 0,20 Gew.-% beträgt.

4. Leiter aus einer Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung weniger als etwa 0,10 Gew.-% Magnesium, weniger als etwa 0,10 Gew.-% Mangan und weniger als 0,10 Gew.-% andere Spurenelemente enthält.

5. Leiter aus einer Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung partikelfrömige Bestandteil des Aluminiums, Eisens und Siliciums mit einer durchschnittlichen Länge von etwa 0,30 Mikron bis etwa 1,70 Mikron und einem durchschnittlichen Durchmesser von etwa 0,05 Mikron bis etwa 0,40 Mikron enthält.
6. Leiter aus einer Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter in Form eines Blattes, einer Folie oder einer Platte vorliegt.
7. Leiter aus einer Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter in Form eines Drahtes vorliegt.
8. Leiter aus einer Aluminiumlegierung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Draht durch Kaltziehen in seine Endform gebracht wird, ohne daß eine zwischenzeitliche oder vorgeschaltete Temperung erfolgt.
9. Leiter aus einer Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß er in Form eines Stabes oder eines Rohres vorliegt.
10. Verfahren zur Herstellung eines Leiters aus einer Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch folgende Verfahrensstufen:
 - 1) Herstellung einer Legierung aus etwa 96,20 bis weniger als 98,83 Gew.-% Aluminium, mehr als etwa 0,99 bis etwa 2,50 Gew.-% Eisen, mehr als etwa 0,18 bis etwa 0,40 Gew.-% Silicium und etwa 0,005 bis etwa 0,40 Gew.-% Spurenelementen, und zwar Vandadium, Kupfer, Mangan, Magnesium, Zink, Bor, Gallium, Nickel, Zirkonium, Chrom, Beryllium und Titan;

- 6 - 20.

- 2) Vergießen der Legierung unter Erzeugung einer Stange oder eines Barrens und
 - 3) Heißverarbeiten der Stange oder des Barrens zu einem elektrischen Leiter der gewünschten Länge.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Legierung kontinuierlich in eine sich bewegende Gießform gegossen wird, die gebildet wird zwischen einer Rinne oder einem Spalt in der Peripherie eines sich drehenden Gießrades und einem Metallförderband, das an einem Teil seiner Länge an der Rinne anliegt, unter Erzeugung einer endlosen Stange und daß man die kontinuierlich gegossene Stange unmittelbar nach dem Vergießen, zu einem Zeitpunkt also, zu dem sich die Stange in praktisch dem Zustand des Vergießens zu einer endlosen Stange befindet, heiß verwalzt.
12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß man die endlose Stange oder den endlosen Stab ohne zwischengeschaltete oder vorangehende Temperungen durch drahtziehende Formen zieht und daß man den auf diese Weise erhaltenen endlosen elektrisch leitenden Draht tempert oder mindestens teilweise tempert.
13. Verwendung eines Leiters auf einer Aluminiumlegierung nach einem der Ansprüche 1 bis 9 zur Herstellung eines elektrischen Verbindungsstückes durch Verbinden eines erfindungsgemäßen Leiters mit einem elektrisch leitfähigen Material.
-